

ICS 国际标准分类号
CCS 中国标准文献分类号

团 体 标 准

T/JES XXX-XXXX

灵活备用变压器设计及应用规范

Flexible backup transformers — Design and application specifications

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

江苏省电工技术学会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号和缩略语	2
5 使用条件	2
5.1 正常使用条件	2
5.2 特殊使用条件	2
6 基本参数设计	2
6.1 型式	2
6.2 电压比调节设计	2
6.3 额定容量	3
6.4 联结组标号	3
6.5 额定频率	3
6.6 短路阻抗	3
6.7 冷却方式	3
6.8 绝缘水平	3
6.9 绕组绝缘耐热等级	3
7 性能要求	3
7.1 温升限值	3
7.2 损耗	3
7.3 承受短路能力	3
8 结构与组件要求	3
8.1 铁心	3
8.2 绕组	3
8.3 油箱	4
8.4 储油柜	4
8.5 冷却装置	4
8.6 套管	4
8.7 套管型电流互感器	4
8.8 绝缘油	4
8.9 其他组件	4
9 试验方法	4
9.1 一般要求	4
9.2 电压比测量及联结组标号检定	4
9.3 绕组电阻测量	4
9.4 绝缘系统电容和介质损耗因数测量	4
9.5 绕组连同套管的绝缘电阻、吸收比或极化指数测量	4
9.6 铁心和夹件绝缘电阻测量	5
9.7 负载损耗和短路阻抗测量	5
9.8 空载损耗及空载电流测量	5
9.9 空载电流谐波测量	5
9.10 操作冲击试验	5
9.11 雷电全波冲击试验	5

T/JES XXX—XXXX

9.12	外施耐压试验.....	5
9.13	带有局部放电测量的感应电压试验 (IVPD).....	5
9.14	绕组频率响应特性试验.....	5
9.15	油箱机械强度试验.....	5
9.16	密封试验.....	5
9.17	绝缘油试验.....	5
9.18	声级测定.....	5
9.19	温升试验.....	5
9.20	短路承受能力试验.....	5
9.21	暂态电压传输特性测定.....	5
10	检验规则.....	6
10.1	例行试验.....	6
10.2	型式试验.....	6
10.3	特殊试验.....	6
10.4	现场交接试验.....	6
11	应急更换应用方法.....	6
11.1	参数选取.....	6
11.2	三相不平衡仿真.....	7
12	标志和随行文件.....	7
12.1	铭牌.....	7
12.2	随行文件.....	7
13	包装、运输和贮存.....	7

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由江苏省电工技术学会提出并归口。

本文件起草单位：国网江苏省电力有限公司电力科学研究院、国网江苏省电力有限公司苏州供电分公司、国网江苏省电力有限公司、西安交通大学、吴江变压器有限公司、南京宁太电气有限公司。

本文件主要起草人：吴鹏、王同磊、石琦、吉亚民、蔚超、宋博、周志成、刘建军、马勇、路永玲、张乔根、汤峻、姜学宝、杨翔宇、费上贝、俞小明、王少琦、安振、冯弼乾、陆云才、张晓琴、梁家碧、林元棣、王胜权、王庆庆、李轩、王纯、谭施天一、王冰、余远亮、张旭。

本文件为首次发布。

灵活备用变压器设计及应用导则

1 范围

本文件规定了 110 kV 及以上单相自耦灵活备用变压器的使用条件、基本参数设计、性能要求、结构与组件要求、试验方法、检验规则、应急更换应用方法、标志和随行文件，以及包装、运输和贮存。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 1094.1	电力变压器 第 1 部分：总则
GB/T 1094.2	电力变压器 第 2 部分：液浸式变压器的温升
GB/T 1094.3	电力变压器 第 3 部分：绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙
GB/T 1094.4	电力变压器 第 4 部分：电力变压器和电抗器的雷电冲击和操作冲击试验导则
GB/T 1094.5	电力变压器 第 5 部分：承受短路的能力
GB/T 1094.10	电力变压器 第 10 部分：声级测定
GB/T 2521.2	全工艺冷轧电工钢 第 2 部分：晶粒取向钢带（片）
GB 2536	电工流体 变压器和开关用的未使用过的矿物绝缘油
GB/T 4109	交流电压高于 1000 V 的绝缘套管
GB/T 15543	电能质量 三相电压不平衡
GB 50150	电气装置安装工程电气设备交接试验标准
DL/T 911	电力变压器绕组变形的频率响应分析法
DL/T 1094	电力变压器用绝缘油选用导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

灵活备用变压器 flexible backup transformer

一种专门用于应急更换，保障电力系统可靠性的单相变压器，其电压比和短路阻抗灵活可调，具备多型号替代能力。

3.2

高压侧调节电抗器 high-voltage side regulating reactor

串接于高压侧回路，用于调节高一中、高一低短路阻抗的模块化外置电抗装置。

3.3

低压侧调节电抗器 low-voltage side regulating reactor

串接于低压侧回路，用于调节中一低、高一低短路阻抗的模块化外置电抗装置

3.4

备用相 backup phase

在由独立单相变压器组成的三相变压器组中，预先配置的、用于在某一相发生故障或缺陷时进行应急物理替换的单相变压器。

3.5

运行相 operating phase

在由独立单相变压器组成的三相变压器组中，当前实际接入电网系统并承担输电任务的单相变压器。在应急换相场景中，特指未发生故障、与新投入的备用相共同重组为三相运行的原有单相变压器。

4 符号和缩略语

下列符号、代号和缩略语适用于本文件。

- I_r : 变压器额定电流;
- I_0 : 变压器空载电流;
- P_{r75} : 在额定容量和参考温度 75°C 下变压器的负载损耗;
- P_0 : 变压器空载损耗;
- S_r : 变压器额定调节容量。

5 使用条件

5.1 正常使用条件

灵活备用变压器应在下列条件下正常使用:

- a) 海拔高度: 不大于 1000 m;
- b) 最大风速: 35 m/s;
- c) 最高相对湿度: 25°C 下为 95%;
- d) 最高气温: +40°C;
- e) 最低气温: -25°C;
- f) 最大日温差: 25 K;
- g) 覆冰厚度: 不大于 10 mm;
- h) 阀侧中性点接地方式: 经高电阻接地, 典型设计;
- i) 地面水平加速度: 小于 3m/s²; 地面垂直加速度: 小于 1.5m/s²。

5.2 特殊使用条件

5.2.1 在下列特殊使用条件下, 灵活备用变压器技术条件可按照本文件或适当修正:

- a) 海拔高度大于 1000 m;
- b) 有害的烟或蒸汽、过多灰尘或沙尘、盐雾、重污秽等;
- c) 环境温度超出 40°C, 最低环境温度低于 -25°C, 以及湿热条件;
- d) 覆冰厚度大于 10 mm;
- e) 油箱特殊工作压力;
- f) 特殊负载特性、负载条件和谐波要求;
- g) 中性点经电容、电抗等特殊接地方式;
- h) 特殊冷却方式和布置方式;
- i) 户内安装变压器的室内通风要求;
- j) 严寒地区等极低温环境下运行;
- k) 其他特殊条件。

5.2.2 在较高环境温度或高海拔环境下的温升和冷却性能应按 GB/T 1094.2 修正, 在高海拔环境下的外绝缘应按 GB/T 1094.3 修正。

5.2.3 其他情况由供需双方协商确定。

6 基本参数设计

6.1 型式

灵活备用变压器针对相应单相自耦变压器进行设计。

6.2 电压比调节设计

电压比调节需求应根据在运的同一电压等级变压器实际电压比分布情况设计确定。

T/JES XXX—XXXX

电压调节包括两种设计形式：一是将线圈设计为多个分接点，通过无励磁鼓型分接开关连接两组线圈，可以实现电压多级调节；二是对于调节范围要求较小的应用场景，可通过额外串联绕组实现。

6.3 额定容量

额定容量应根据在运的同一电压等级变压器实际参数情况设计确定。

6.4 联结组标号

联结组标号根据在运的同一电压等级变压器实际参数情况设计确定。

6.5 额定频率

额定频率应为 50 Hz。

6.6 短路阻抗

灵活备用变压器的短路阻抗调节范围应基于应用区域内在运变压器（高一中、中一低、高一低）阻抗分布的统计调研结果确定。其设计方案应具备普适性，通过高压侧（或低压侧）调节电抗器的挡位组合，实现在应用区域内的技术覆盖率不低于 80%。各调节挡位下的高一中短路阻抗制造容差应控制在 $\pm 2\%$ 以内。阻抗挡位的设计还应确保在各种调节工况下，均能满足本文件关于环流及电压不平衡度的技术规范。

通过高压侧调节电抗器、低压侧调节电抗器实现高一中、中一低、高一低阻抗的联合调节。电抗器设有多个分接头，通过分接开关进行连接。短路阻抗调节应提供不同电压等级下电抗器的调节档位及对应的短路阻抗设计值。

6.7 冷却方式

冷却方式根据在运的同一电压等级变压器实际参数情况设计确定。

6.8 绝缘水平

绝缘水平根据在运的同一电压等级变压器绝缘水平设计确定。

6.9 绕组绝缘耐热等级

绕组绝缘耐热等级应为 A 级。

7 性能要求

7.1 温升限值

灵活备用变压器的顶层油温升、绕组平均温升、绕组热点温升、油箱、铁心及结构件温升根据在运的同一电压等级变压器实际参数情况确定，设计应覆盖 80% 以上的在运变压器。

7.2 损耗

灵活备用变压器的损耗根据在运的同一电压等级变压器实际参数情况确定，不包含电抗器损耗。

7.3 承受短路能力

承受短路能力应符合 GB/T 1094.5 的规定，变压器应有承受线路短路电流能力。短路电流应按电网规划确定。

8 结构与组件要求

8.1 铁心

铁心宜选用晶粒取向冷轧硅钢片，并应符合 GB/T 2521.2 的规定。

8.2 绕组

全部绕组应采用铜导线，宜采用自粘换位导线。

8.3 油箱

8.3.1 油箱上应设有温度计座、接地端子、吊攀和千斤顶支撑座等。

8.3.2 油箱上应装有梯子，梯子下部应有锁住踏板的挡板，梯子位置应便于对气体继电器检查。

8.3.3 油箱应装有进油阀、排油阀和油样阀。

8.3.4 油箱应承受真空度为 13.3 Pa 和正压 100 kPa 的机械强度试验，不应发生损伤和不允许的永久变形。

8.4 储油柜

8.4.1 储油柜中的油应与大气隔离，可采用胶囊或金属膨胀器，胶囊的气室通过吸湿器与大气相通。

8.4.2 储油柜内净容积应保证在最高环境温度允许过载状态下油位不超过最高油位，在最低环境温度未投入运行时观察油位计应有油位显示。

8.4.3 储油柜应装有带高低油位报警接点的油位计、放气塞、排气管、排污管、进油管、吊攀和人孔。

8.5 冷却装置

8.5.1 片式散热器应承受真空度为 13.3 Pa 和正压 100 kPa 的机械强度试验，不得有损伤和不允许的永久变形。

8.5.2 片式散热器宜经蝶阀固定在变压器油箱上或采用独立落地支撑。

8.6 套管

套管试验和性能要求应符合 GB/T 4109 的规定。

8.7 套管型电流互感器

变压器套管型电流互感器应符合 GB/T 20840.2 的规定，配置及规范应按工程需要确定。

8.8 绝缘油

绝缘油应符合 GB 2536 和 DL/T 1094 规定的环烷基油要求。

8.9 其他组件

8.9.1 气体继电器、温度计、油位计、压力释放阀等应有完备的防雨措施，宜加装防雨罩；温度计座应有防外力破坏的防护罩；气体继电器、集气盒安装位置应便于观察，气体继电器宜采用双浮球结构。

8.9.2 铁心、夹件的接地引下线应通过小套管引出，并与油箱绝缘，接地处应有明显的接地符号或“接地”字样。

8.9.3 气体继电器至端子箱电缆应将每个触点的引线单独引出。

9 试验方法

9.1 一般要求

除本文件另有规定外，各项试验及交接试验应符合 GB/T 1094 系列标准及 GB 50150 的规定。

9.2 电压比测量及联结组标号检定

电压比测量及联结组标号检定按照 GB/T 1094.1 执行。

9.3 绕组电阻测量

绕组电阻测量按照 GB/T 1094.1 执行。

9.4 绝缘系统电容和介质损耗因数测量

绝缘系统电容和介质损耗因数测量按照 GB/T 1094.1 执行。

9.5 绕组连同套管的绝缘电阻、吸收比或极化指数测量

绕组连同套管的绝缘电阻、吸收比或极化指数测量按照 GB/T 1094.1 执行。

9.6 铁心和夹件绝缘电阻测量

铁心和夹件绝缘电阻测量按照 GB/T 1094.1 执行。

9.7 负载损耗和短路阻抗测量

负载损耗和短路阻抗测量按照 GB/T 1094.1 执行。短路阻抗测试应根据短路阻抗参数表格逐一进行。

负载损耗测量应在电压最大分接处，高压、低压电抗器最小分接情况下测量。

9.8 空载损耗及空载电流测量

空载损耗及空载电流测量按照 GB/T 1094.1 执行。

9.9 空载电流谐波测量

空载电流谐波测量按照 GB/T 1094.1 执行。

9.10 操作冲击试验

操作冲击试验按照 GB/T 1094.3 和 GB/T 1094.4 执行。

9.11 雷电全波冲击试验

雷电全波冲击试验按照 GB/T 1094.3 和 GB/T 1094.4 执行。

9.12 外施耐压试验

外施耐压试验按照 GB/T 1094.3 执行。

9.13 带有局部放电测量的感应电压试验 (IVPD)

带有局部放电测量的感应电压试验 (IVPD) 在电压最小分接，高压、低压电抗器最大分接处，按照 GB/T 1094.3 执行。

注：此处选择电压最小分接与电抗器最大分接，旨在构造设备内部端部绝缘和纵绝缘承受最大电压梯度的极限工况。

9.14 绕组频率响应特性试验

绕组频率响应特性试验按照 DL/T 911 执行。

9.15 油箱机械强度试验

油箱机械强度试验按照 GB/T 1094.1 执行。

9.16 密封试验

密封试验按照 GB/T 1094.1 执行。

9.17 绝缘油试验

绝缘油试验按照 GB 2536 执行。

9.18 声级测定

声级测定按照 GB/T 1094.10 执行。

9.19 温升试验

温升试验按照 GB/T 1094.2 执行。

9.20 短路承受能力试验

短路承受能力试验在电压最大分接处，高压、低压电抗器最小分接情况下按照 GB/T 1094.5 执行。

注：此处选择电压最大分接与电抗器最小分接，旨在构造系统短路阻抗最小的运行方式，以产生最大的短路冲击电流，从而严苛考核绕组的抗电动力机械强度。

9.21 暂态电压传输特性测定

暂态电压传输特性测定按照 GB/T 1094.1 执行。

10 检验规则

10.1 例行试验

例行试验项目应按照 GB/T 1094.1 执行，包括下列内容：

- 电压比测量及联结组标号检定；
- 绕组电阻测量；
- 绝缘系统电容和介质损耗因数测量；
- 绕组连同套管的绝缘电阻、吸收比或极化指数测量；
- 铁心和夹件绝缘电阻测量；
- 负载损耗和短路阻抗测量；
- 空载损耗及空载电流测量；
- 空载电流谐波测量；
- 操作冲击试验；
- 雷电全波冲击试验；
- 外施耐压试验；
- 带有局部放电测量的感应电压试验（IVPD）；
- 绕组频率响应特性试验；
- 密封试验；
- 绝缘油试验。

10.2 型式试验

型式试验项目应按照 GB/T 1094.1 执行，包括下列内容：

- 声级测定；
- 温升试验。

10.3 特殊试验

特殊试验项目应包括：

- 短路承受能力试验；
- 暂态电压传输特性测定；
- 油箱机械强度试验。

10.4 现场交接试验

交接试验项目应包括：

- 电压比测量及联结组标号的检定；
- 绕组电阻测量；
- 绝缘系统电容和介质损耗因数的测量；
- 绕组连同套管的绝缘电阻、吸收比或极化指数测量；
- 铁心和夹件绝缘电阻的测量；
- 外施耐压试验；
- 带有局部放电测量的感应电压试验（IVPD）；
- 绕组频率响应特性试验；
- 绝缘油试验。

11 应急更换应用方法

11.1 参数选取

应急更换的备用相变压器参数应与在运另外两相满足：

- a) 额定变比宜与在运单元保持一致；

- b) 高一中短路阻抗有名值 (Ω) 偏差宜控制在 $\pm 2\%$ 以内; 最大偏差不应超过 $\pm 5\%$ 。
按照参数选择的优先顺序, 确定参数选配步骤如下, 越靠前的步骤优先级越高。

11.1.1 高压侧额定电压: 备用单相变压器高压侧额定电压应不低于运行相额定电压, 且不宜高于运行相 2.5% 。若偏差高于 5% , 则不应进行替换。

11.1.2 低压侧额定电压: 备用相低压侧额定电压与运行相应为同一电压等级, 不同电压等级不应替换。

11.1.3 备用单相变压器额定高一中变比宜与运行相一致 (偏差不超过 $\pm 0.5\%$)。若不满足, 应通过调节调压位使偏差控制在 1% 以内。偏差超过 2% 时, 不应进行替换。

11.1.4 备用单相变压器的额定容量应与运行相一致。短路阻抗有名值 (Ω) 的选配应符合以下要求:

- 常规选配: 偏差在 $\pm 2\%$ 以内时, 可直接进行应急替换。
- 特殊选配: 偏差在 2% 至 5% 之间时, 应按照本文件第 11.2 条的规定完成三相不平衡仿真评估, 确认负序电压不平衡度等指标合格后方可接入。
- 禁用替换: 偏差超过 5% 时, 不应进行单相替换。

11.2 三相不平衡仿真

三相不平衡仿真应根据现场测量得到单相自耦变压器电容量测试值, 计算变压器 A、B、C 三相的低压绕组对地电容、高一中压自耦绕组对低压绕组间耦合电容; 应确定电网高压侧、中压侧、低压侧的设备参数值。其中高压侧、中压侧仅需要电压、功率参数, 低压侧则根据工况确定负载情况。根据运行相所在低压侧的电容器、电抗器、母线、其余设备情况确定相应的容量、电容。

仿真结果依据 GB/T 15543 判断负序电压不平衡度及环流大小。如存在三相不平衡运行问题, 宜在负载侧设计电容补偿方案, 通过仿真分析选取满足不平衡度限值要求的方案。

12 标志和随行文件

12.1 铭牌

铭牌应满足 GB/T 1094.1 的规定, 应标明电压、短路阻抗可调范围, 用耐腐蚀材料制成, 字样、符号应清晰耐久, 铭牌在设备正常运行时安装位置应明显可见。

12.2 随行文件

每台灵活备用变压器 (包括标准组件) 应附有安装使用说明书、产品合格证书、出厂试验记录、产品外形尺寸图、运输尺寸图、产品拆卸一览表、装箱单、铭牌图或铭牌标志图及备件一览表等。出厂资料应妥善包装防止受潮。

出厂试验记录中应记录本文件规定出厂试验项目中的全部试验结果和绝缘电阻值, 注明测量时的温度和湿度。

根据用户要求, 制造厂应提供本文件规定项目的有关型式试验和特殊试验结果。

13 包装、运输和贮存

变压器应具有承受总质量的起吊装置。变压器器身、油箱、储油柜或冷却器应有起吊装置。

变压器的结构应在经过正常的铁路、公路及水路运输后, 内部结构相互位置不变, 紧固件不松动。变压器的套管、冷却器、事故放油阀和储油柜等组件、部件结构布置位置不应妨碍吊装、运输及运输中紧固定位。

变压器宜采用带油运输。如受运输条件限制, 可不带油运输, 但应充干燥的氮气或露点低于 -40°C 的干燥空气。运输前应充 $20\text{ kPa}\sim 30\text{ kPa}$ 的压力进行密封试验。变压器在运输和贮存期间应保持正压, 并有压力表监视。

变压器在运输中应装三维冲撞记录仪, 运输冲撞加速度不应超过 3 g 。

变压器组件、部件在运输中, 不应损坏和受潮。